

URAD REPUBLIKE SLOVENIJE ZA INTELEKTUALNO LASTNINO

3P01/70  
**P o t r d i l o**

|                   |     |
|-------------------|-----|
| REC'D 29 JAN 2001 |     |
| WIPO              | PCT |

**C e r t i f i c a t e**

4

Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino potrjuje, da je priloženi dokument istoveten z izvirnikom prijave patenta, kot sledi:

*Slovenian Intellectual Property Office hereby certifies that the document annexed hereto is a true copy of the patent application, as follows:*

(71) Prijavitelj (*Applicant*):

Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

(22) Datum prijave (*Application Date*):

14.1.2000 (14.jan.2000)

(54) Naziv (*Title*):

SINHRONSKI HIBRIDNI ELEKTRIČNI STROJ S TOROIDNIM NAVITJEM

(21) Številka prijave (*Application No.*):

P-200000004

Ljubljana, 7.11.2000



*re*  
Janez Kuček-Mezek  
svetovalec Vlade  
*[Signature]*

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

## Sinhronski hibridni električni stroj s toroidnim navitjem

Pričujoči izum se nanaša na sinhronski hibridni električni stroj s toroidnim navitjem. Natančneje, obravnava sinhronski hibridni električni stroj s tako strukturo, da ta stroj v primerjavi s konvencionalnimi stroji podobne konstrukcije omogoča večji specifični navor.

Hibridni električni stroji so koračni elektromotorji z vgrajenimi permanentnimi magneti, ki povečajo gostoto magnetnega polja v zračni reži. Specialne konstrukcijske rešitve takih motorjev so že poznane. Po eni od njih so tako v rotorju kot tudi v statorju ozobljeni železni obroči, statorske tuljave (tipično trifazne) pa so navite tako kot pri številnih drugih koračnih motorjih. Nadalje, med železne lamele statorja so vstavljeni močni permanentni magneti, ki so namagneteni v aksialni smeri, tako da magnetni fluks permanentnih magnetov prečka lamele, medtem ko gre magnetni fluks tuljav vzdolž lamel v longitudinalni smeri. Po taki konstrukciji se lahko doseže relativno velika gostota magnetnega polja v zračni reži, s tem pa tudi velik specifični navor (navor na maso motorja).

Po neki drugi konstrukcijski rešitvi je v motorju dvojna (notranja in zunanja) zračna reža med rotorjem in statorjem. Na rotorjevem obroču so zobje (poli) tako na notranjem kot na zunanjem obodu, statorska obroča pa sta dva (notranji in zunanji). Vsak od obeh statorskih obročev je po konstrukciji podoben zgoraj opisani konstrukciji, torej je v motorju dvojno število tuljav in dvojno število permanentnih magnetov.

Stroji po zgoraj opisanih konstrukcijskih rešitvah imajo relativno velik specifični navor. Druga konstrukcijska rešitev, opisana zgoraj, daje celo dvojni navor, ker je aktivna površina ob zračni reži dvojna. Pomanjkljivost te konstrukcije pa je v tem, da motor potrebuje dvojno število statorskih tuljav in dvojno število statorskih permanentnih magnetov. Posledica tega so tudi podvojene ohmske izgube v tuljavah. Zato se je na tem področju pojavila potreba po novih hibridnih električnih strojih, takih z velikim specifičnim navorom, pa brez slabosti obstoječih strojev na tem področju.

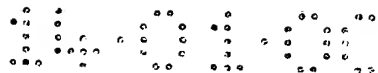
Pričujoči izum torej rešuje problem, kako konstruirati hibridni stroj z dvojno (notranjo in zunanjo) zračno režo, in to tako, da se v reži doseže visoka gostota magnetnega polja kot združitev transversalnega magnetnega fluksa permanentnih magnetov in longitudinalnega magnetnega fluksa statorskih tuljav.

Rešitev tega problema je hibridni sinhronski motor s toroidnim navitjem. Motor ima rotor in stator. Stator vsebuje vsaj eno sklop feromagnetnih obročev, ki so medsebojno koaksialno zamaknjeni in ozobljeni tako po notranjem kot po zunanjem obodu. Po sklopu teh obročev je navito polifazno toroidno navitje, ki sestoji iz posameznih segmentov. Žica navitja teče med statorskimi zobmi.

Hibridni sinhronski elektromotor po pričujoči invenciji omogoča veliko gostoto magnetnega polja v zračni reži kot rezultat kombinacije transversalnega magnetnega fluksa permanentnih magnetov in longitudinalnega magnetnega fluksa tuljav. Zaradi dvojne (notranje in zunanje) zračne reže kaže veliko aktivno površino zračne reže. Hkrati pa vsebuje le en sam nabor statorskih tuljav. Zaradi majhnega števila setavnih delov in zaradi standardnih tehnologij izdelave je izdelava motorja poceni. Nadalje, zaradi majhnih ohmskih izgub v tuljavah kaže motor odličen energetski izkoristek.

V nadaljevanju bo izum podrobneje obrazložen, pri tem pa se bomo sklicevali na slike, ki prikazujejo primere strojev po pričujočem izumu, in sicer:

- Sl. 1 Aksonometrični pogled (v delnem prečnem prerezu) na trifazni hibridni sinhronski električni stroj s toroidnim navitjem po izumu;
- Sl. 2 Prečni prerez sestavljenega motorja (varianta A);
- Sl. 3a Aksonometrični pogled na trifazno toroidno navitje, z električnimi kontakti za tri faze (A,B,C) električnega toka;
- Sl. 3b Longitudinalni pogled na trifazno toroidno navitje po sliki 3a (stran z električnimi kontakti);
- Sl. 3c Longitudinalni pogled na trifazno toroidno navitje po sliki 3a (stran brez električnih kontaktov);
- Sl. 4 Vzдолžni prerez, ki prikazuje relativni položaj zob na rotorskih in statorskih obročih (varianti



A in B);

Sl. 5 Aksonometrični pogled (v delnem prečnem prerezu) na stroj z dvojnimi sklopom statorskih obročev in s skupnim toroidnim navitjem, po izumu;

Sl. 6 Varianta B hibridnega stroja s toroidnim navitjem po izumu (prečni prerez sestavljenega motorja);

Sl. 7 Varianta C hibridnega stroja s toroidnim navitjem po izumu (prečni prerez sestavljenega motorja);

Sl. 8 Vzdolžni prerez variante C, prikazuje relativno lego zob na rotorskih in statorskih obročih.

Slika 1 prikazuje prvo obliko (varianta A) hibridnega stroja s toroidnim navitjem po izumu. Slika 3a še natančneje prikazuje vitalne komponente statorja. Na eno stran statorske armature (1) je pritrjen vsaj en sklop (7), ki vsak sestoji iz dveh ozobljenih feromagnetnih obročev (2, 3) s statorskimi poli (2a, 2b, 3a, 3b) in iz namagnetnega diska (4). Ozobljena obroča (2, 3) in namagnetni disk (4) so pritrjeni skupaj na primer z vijaki (5), kot to prikazujeta sliki 1 in 3a. Ozobljena obroča (2, 3) v paketu sta postavljena tako, da so njuni zunanji poli (2b, 3b) v isti kotni legi, tako kot to vidimo na slikah 1 in 3a. Isto velja tudi za notranje pole (2a, 3a). Disk (4) je namagneten tako, da ustvarja magnetni pretok, ki gre bodisi od ozobljenega obroča (2) k ozobljenemu obroču (3), ali pa v nasprotni smeri. Vsak ozobljeni obroč (2, 3) je lahko napravljen iz železnih lamel, podobno kot v konvencionalnih elektromotorjih.

Statorska tuljava (6) je navita toroidno po statorskem sklopu (7), tako da žica (8) tuljave (6) velikokrat obkroži statorski sklop (7), zelo podobno kot pri toroidnih transformatorjih. Žica (8) gre po utorih (9a, 9b, 10a, 10b) med statorskimi poli (2a, 2b, 3a, 3b, v istem vrstnem redu) in jih napolnjuje tako, da žica (8) nikjer ne štrli iz utorov. V vsakem od štirih utorov (9a, 9b, 10a, 10b) lahko leži en ali več ovojev žice (8).

Statorska tuljava (6) je po vsem obodu sklopa (7) razdeljena v enake segmente (11). Vsak segment (11) je vezan na eno od faz polifaznega električnega toka na tak način, da so zaporedni segmenti (11) vezani na zaporedne električne faze. Na slikah 3a,b,c je prikazan primer trifaznega navitja. Šest segmentov (11a), ki odgovarjajo prvi električni fazi (faza A), so električno lahko vezani v serijo (kot prikazuje slika 3b), podobno pa je potem vezana tudi skupina šestih segmentov (11b), ki odgovarjajo drugi električni fazi, in šest segmentov (11c), ki odgovarjajo

tretji fazi. Vzemimo na primer šest segmentov (11a). Vidimo, da jih lahko razdelimo na tri pare (12a, 12b, 12c). V vsakem takem paru je en segment (11), v katerem žica (8) obkroža statorski paket (7) v pozitivni smeri, in en segment (11) v katerem žica (8) obkroža statorski paket v negativni smeri. Če število parov v posamezni fazi označimo  $L$ , potem za primer na sliki 3 velja  $L=3$ .

Konci polifazne tuljave (6) vodijo skozi statorsko armaturo (1) in so na izvor polifaznega toka vezani z električnimi kontakti (13). Par kontaktov za fazo A je na sliki 3b označen A+/A .

Na rotorsko armaturo (15), ki preko krogličnega ležaja (29) leži na statorski armaturi (1), sta pritrjena notranji rotorski sklop (16a) in zunanji rotorski sklop (16b). Notranji rotorski sklop (16a) sestoji iz dveh feromagnetnih ozobljenih obročev (17a, 18a) z enakomerno razporejenimi rotorskimi zobmi oziroma poli (19a, 20a), in iz feromagnetnega diska (21a). Podobno tudi zunanji rotorski sklop (16b) sestoji iz dveh ozobljenih feromagnetnih obročev (17b, 18b) z enakomerno razporejenimi rotorskimi poli (19b, 20b), in iz feromagnetnega diska (21b). Ozobljena obroča (17a, 18a) in feromagnetni disk (21a) se lahko drže skupaj tako, da so na tesno potisnjeni v rotorsko armaturo (15), kot je to prikazano na sliki 1. Ozobljena obroča (17a, 18a) v sklopu (16a) sta v taki legi, da so njuni poli (19a, 20a) medsebojno zamaknjeni, tako kot to prikazujeta sliki 1 in 2. Vsak ozobljeni obroč (17a, 18a) je lahko po standardnih postopkih izdelave napravljen iz železnih lamel, podobno kot v konvencionalnih elektromotorjih. Vse gornje navedbe veljajo prav tako za zunanji rotorski sklop (16b).

Relativni položaj vseh rotorskih in statorskih obročev je prikazan na sliki 2. Centralna os motorja je označena (30). Statorski obroč (2) je v magnetni povezavi z rotorskima obročema (17a, 17b), statorski obroč (3) pa je v magnetni povezavi z rotorskima obročema (18a, 18b). Na tej sliki niso prikazani električni vodniki.

Štiri nizi rotorskih polov (19a, 19b, 20a, 20b) imajo medsebojno enako število polov. Imenujmo to število  $K_r$ . Štiri nizi statorskih polov (2a, 2b, 3a, 3b) tudi imajo medsebojno enako število polov, ki ga imenujmo  $K_s$ . V primeru, da so kot rotorski poli tudi statorski poli enakomerno razmaknjeni (tak je primer na slikah 1 – 4), potem števili  $K_r$  in  $K_s$  ne smeta biti enaki, in sicer je razlika ravno preje omenjeno število  $L$ .

Slika 4 prikazuje vzdolžni prerez skozi rotorska obroča (17a, 17b) in skozi statorski obroč (2), tako da vidimo relativni položaj statorskih polov (2a, 2b) in rotorskih polov (19a, 19b) v izbranem trenutku opazovanja. Zaradi razlike med  $K_r$  in  $K_s$  (označili smo jo  $L$ ) je po obodu  $L$  področij (v primeru na slikah je  $L=3$ ), kjer se rotorski in statorski poli prekrivajo, in prav tako  $L$  področij, kjer se ne prekrivajo. Med območji prekrivanja (23) in območji neprekrivanja (24) so še področja delnega prekrivanja (25a, 25b), kjer se poli (19a, 19b) le delno (od strani) prekrivajo s statorskimi poli (2a, 2b). V zaporednih območjih delnega prekrivanja je ta zamik na stran izmenoma v smeri urinega kazalca in v nasprotni smeri, tako da so v območjih (25a) rotorski poli glede na statorske zamaknjeni v smeri urinega kazalca, v področjih (25b) pa v nasprotni smeri urinega kazalca.

S pomočjo slik 4 in 1 vidimo, da magnetno polje v reži med statorskim obročem (2) in notranjim rotorskim obročem (17a) nastane deloma zaradi permanentnega magneta (4) in delno zaradi tuljave (6). Isto velja za režo med statorskim obročem (2) in zunanjim rotorskim obročem (17b). Tista komponenta magnetnega polja, ki nastane zaradi tuljave, se po obodu reže od mesta do mesta razlikuje. Če so električne faze trifaznega toka v tuljavnih segmentih (11) pravilno nastavljene, je v izbranem trenutku opazovanja magnetno polje v reži med statorskim obročem (2) in notranjim rotorskim obročem (17a) najmočnejše ravno v območjih (25b). Isto velja za magnetno polje v reži med statorskim obročem (2) in zunanjim rotorskim obročem (17b). Zaradi te trenutne magnetne situacije statorski poli (2a, 2b) privlačijo rotorske pole (19a, 19b) v smeri urinega kazalca, kar povzroči zasuk rotorja v tej smeri. Ko rotor naredi le droben del obrata, se območja delnega prekrivanja (25b) veliko bolj premaknejo po obodu (in sicer prav tako v smeri urinega kazalca, če je  $K_r$  večji kot  $K_s$ , kar je primer na sliki 4). S primerno spremembo električnih faz trifaznega toka pa lahko v tem novem trenutku dosežemo, da je magnetno polje v reži med statorskim obročem (2) in notranjim rotorskim obročem (17a) spet najmočnejše ravno v novih območjih (25b). Isto velja za magnetno polje v reži med statorskim obročem (2) in zunanjim rotorskim obročem (17b). Zelo podobna slika pa velja tudi za drugo polovico aktivnih delov motorja, namreč za statorski obroč (3) in rotorska obroča (18a, 18b). Na ta način se rotor motorja poganja naprej. Med enim ciklom (periodo) trifaznega električnega toka v tuljavi (6) se rotor zavrti naprej ravno za eno rotorsko polovo delitev. Kontinuirano spreminjanje električnih faz trifaznega toka se lahko zagotovi z elektronsko komutacijo.

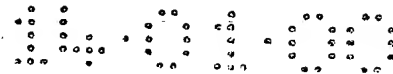


Pripomniti je treba, da se koaksialno na statorsko armaturo (1) lahko pritrdi tudi več statorskih sklopov (7). V tem primeru je tuljava (6) lahko navita okoli vseh teh sklopov skupaj. To velja celo za statorske sklope (7), ki so pritrjeni na različne strani statorske armature (1). Tak motor prikazuje slika 5. Statorska sklopa (7) sta pritrjena vsak s svoje strani na statorsko armaturo (1) in imata oba le eno skupno navitje (6). V vsakem primeru pa je število rotorskih sklopov (16a, 16b) enako kot število statorskih sklopov (7). Zaradi lažje izdelave lahko nepretrgano žico tuljave (6) včasih nadomestimo z diskretnimi ovoji tuljave. Tak primer je na sliki 5. Vsak posamezni navoj sestoji iz bakrenega dela (6a) v obliki črke U in krajšega bakrenega dela (6b), ki sta zlotana ali zvarjena skupaj v točkah (6c).

Slika 6 prikazuje drugačno obliko (varianta B) hibridnega stroja s toroidnim navitjem po izumu. (Tudi na tej sliki niso prikazani električni vodniki.) Skoraj vse je identično verziji A, s sledečimi izjemami: Namagnetene diska (4) v statorju ni, tako da sta ozobljena obroča (2, 3) čisto skupaj (se dotikata ali pa sta celo spojena skupaj). Feromagnetna diska (21a, 21b) pa sta nadomeščena z dvema namagnetenima diskoma (27a, 27b), ki sta oba namagnetena v isti aksialni smeri, tako kot to prikazujeta puščici na sliki 6. Pri verziji B so torej permanentni magneti prestavljeni v rotor.

Slika 7 prikazuje še eno, zopet drugačno obliko (varianta C) hibridnega stroja s toroidnim navitjem po izumu (spet brez električnih vodnikov). Tudi ta verzija ima permanentne magnetne v rotorju in je skoraj identična verziji B, s sledečimi izjemami: Diska (27a, 27b) sta namagnetena v nasprotni smeri, tako kot to prikazujeta puščici na sliki 7. Notranji rotorski sklop (16a) je glede na zunanji rotorski sklop (16b) kotno zamaknjen okrog osi motorja (30) za eno polovico rotorske polove delitve, tako da za vzdolžni prerez relativne lege rotorskih in statorskih polov dobimo pri varianti C konfiguracijo, ki jo prikazuje slika 8. Pri varianti B (prim. Sl. 4) je ta relativna lega bila malo drugačna.

Toplotni stik med tuljavo (6) in ohišjem motorja (1, 15) je pri motorjih s toroidno konfiguracijo navitja običajno majhen, vendar se ga da bistveno izboljšati s tem, da sta obe reži (notranja in zunanja reža) med rotorjem in statorjem napolnjeni s tekočino, ki ima več funkcij. Prenaša vso odvečno toploto iz notranjosti motorja, istočasno pa duši vse nezaželenje mehanske vibracije. V ta namen se lahko uporabi posebna feromagnetna tekočina (ferofluid), ki jo drži v reži kar



magnetno polje med rotorjem in statorjem. Primeri feromagnetnih tekočin so razne stabilne suspenzije monodomenskih magnetnih delcev v nemagnetni tekočini nosilki. Delci velikosti nekako 10 nanometrov so na površini prekriti s snovjo, ki stabilizira disperzijo in preprečuje aglomeracijo delcev, celo kadar je ferrofluid v močnem gradientu magnetnega polja.

Magnetni fluks opisanih motorjev je, podobno kot pri nekaterih drugih motorjih z velikim specifičnim navorom, vsota transversalnega magnetnega fluksa permanentnih magnetov in longitudinalnega magnetnega fluksa tuljav. Opisana struktura hibridnega sinhronskega električnega stroja s toroidnim navitjem razreši tehnični problem ustvarjanja velike gostote magnetnega polja v reži, s tem da je aktivna površina reže dvojna (notranja in zunanja), statorsko navitje pa eno samo toroidno.

*Andrej Vrd*



## Patentni zahtevki

1. Hibridni sinhronski elektromotor s toroidnim navitjem, vsebujoč rotor in stator, s tem da ima stator vsaj en sklop (7) koaksialno razmaknjenih feromagnetnih obročev (2, 3), ki sta ozobljena tako na notranjem kot na zunanjem obodu, s tem da je sklop (7) opremljen s polifazno toroidno tuljavo (6) iz posameznih segmentov in žica tuljave leži med zobmi (2a, 3a, 2b, 3b).
2. Motor po zahtevku 1, v katerem lahko ima več statorskih sklopov (7) skupno toroidno tuljavo, ki jih vse hkrati obkroža v tem smislu, da je navita naokrog ali sestavljena iz bakrenih delov v obliki črke U.
3. Motor po zahtevkih 1 in 2, pri katerem vsakemu statorskemu sklopu (7) pripada en par (notranji in zunanji) rotorskih sklopov (16a, 16b), ki vsak vsebuje dva koaksialno razmaknjena rotorska obroča (17a, 18a ali 17b, 18b) s poli (z zobmi), ki so enakomerno razporejeni po obodu, s tem da so poli enega omenjenega rotorskega obroča (17a ali 17b) kotno zamaknjeni za eno polovico rotorske polove delitve glede na pole drugega omenjenega rotorskega obroča (18a ali 18b, v istem vrstnem redu).
4. Motor po zahtevkih od 1 do 3, pri katerem je vstavljen bodisi en aksialno namagneteni disk med ozobljena statorska obroča (2, 3) vsakega sklopa (7), bodisi sta vstavljena dva taka diska med priležne ozobljene rotorske obroče (17a, 18a) in (17b, 18b), tako da ti diski ustvarjajo transverzalni magnetni pretok v notranji in v zunanji reži med rotorjem in statorjem.
5. Motor po zahtevkih od 1 do 4, v katerem imajo štiri nizi rotorskih polov (19a, 19b, 20a, 20b) enako število polov, in v katerem imajo štiri nizi statorskih polov (2a, 2b, 3a, 3b) tudi enako število polov, toda ti dve števili se nekoliko razlikujeta, če so le statorski poli enakomerno razporejeni po obodu.
6. Motor po zahtevku 1, v katerem sta reži med rotorjem in statorjem napolnjeni s tekočino (najraje s feromagnetno tekočino), ki izboljša toplotni prestop iz notranjosti motorja ter hkrati uduši mehanske vibracije.

*Pravec*

## Izveček

## Sinhronski hibridni električni stroj s toroidnim navitjem

Pričujoči izum se nanaša na sinhronski hibridni električni stroj s toroidnim navitjem. Posebej se to nanaša na sinhronski hibridni električni stroj, katerega struktura je taka, da v primerjavi s konvencionalnimi motorji podobne konstrukcije omogoča večji specifični navor.



2000

2/8

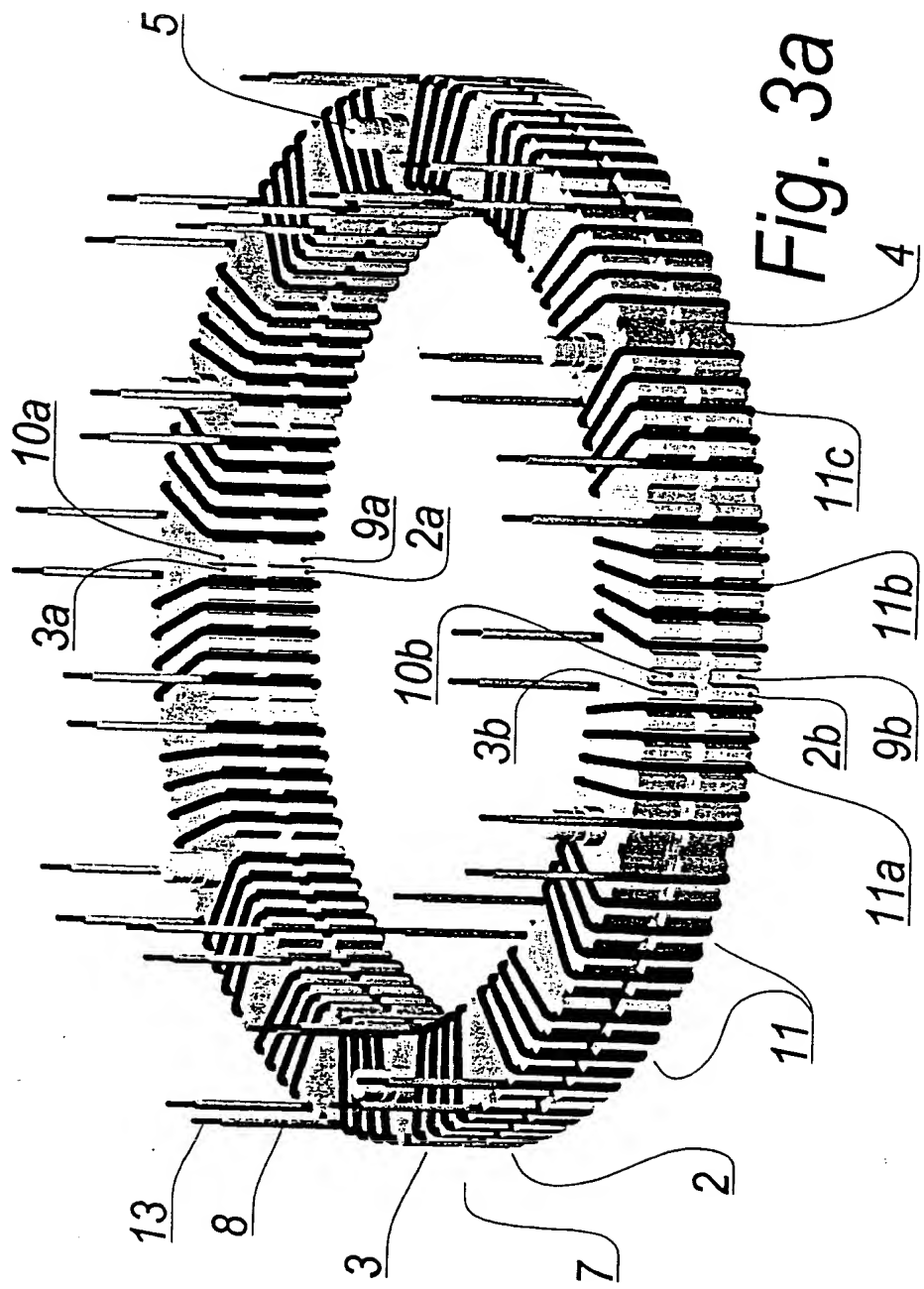
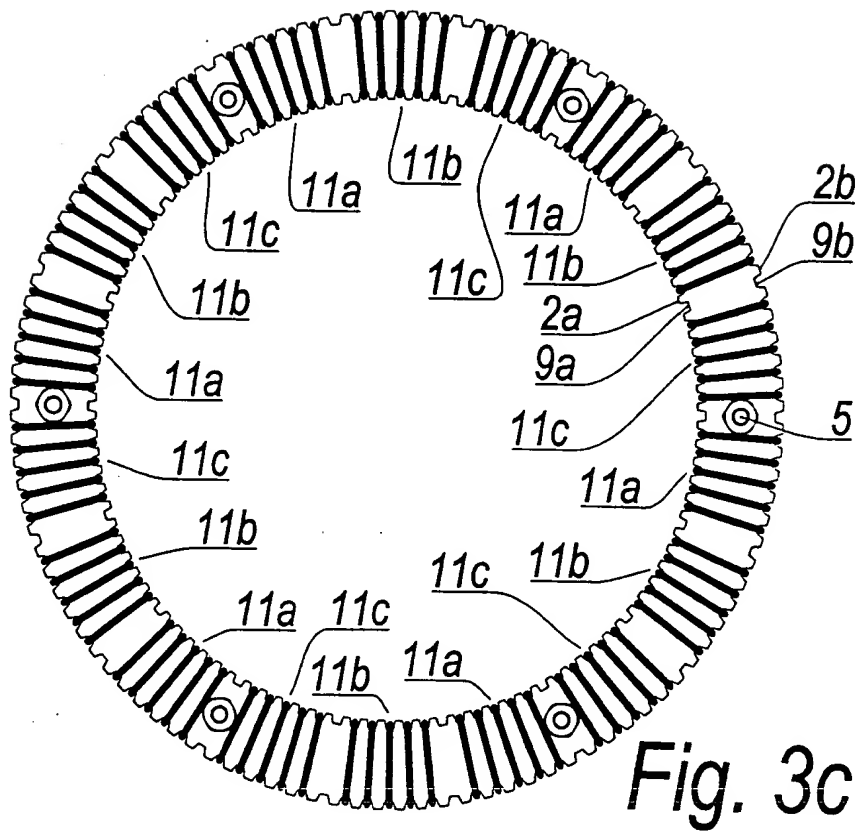


Fig. 3a

Lucas 887

Indre 2021

4/8



*Handwritten signature*

5/8

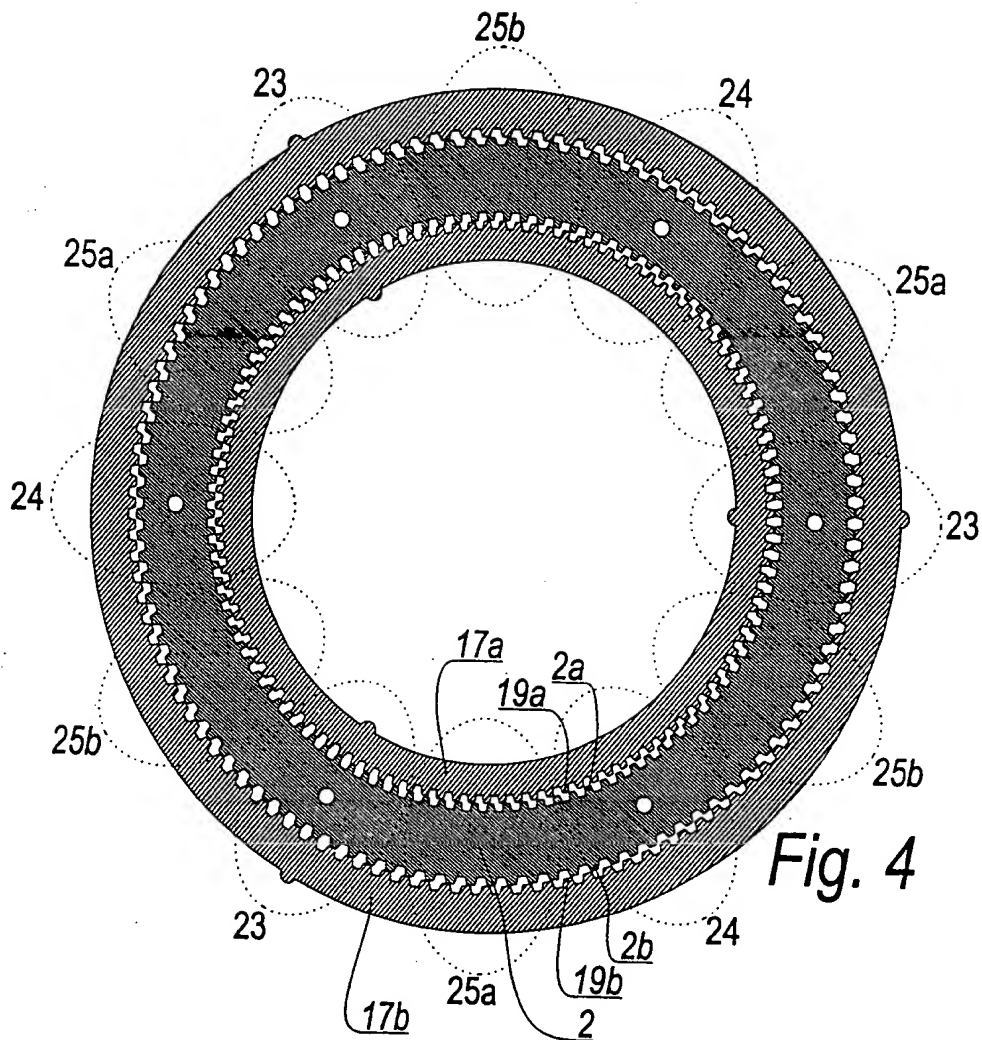


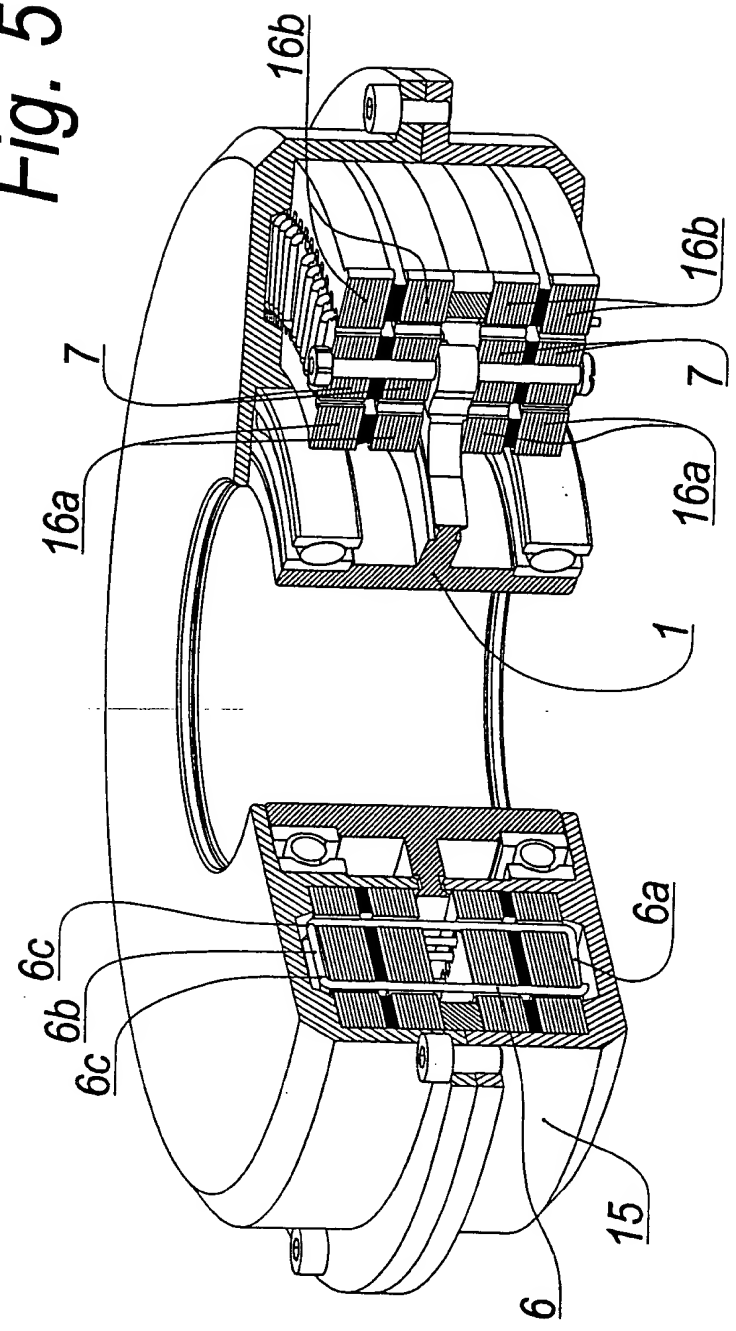
Fig. 4

*Handwritten signature*

FIG. 5

6/8

Fig. 5



Lucas 787



Fig. 2

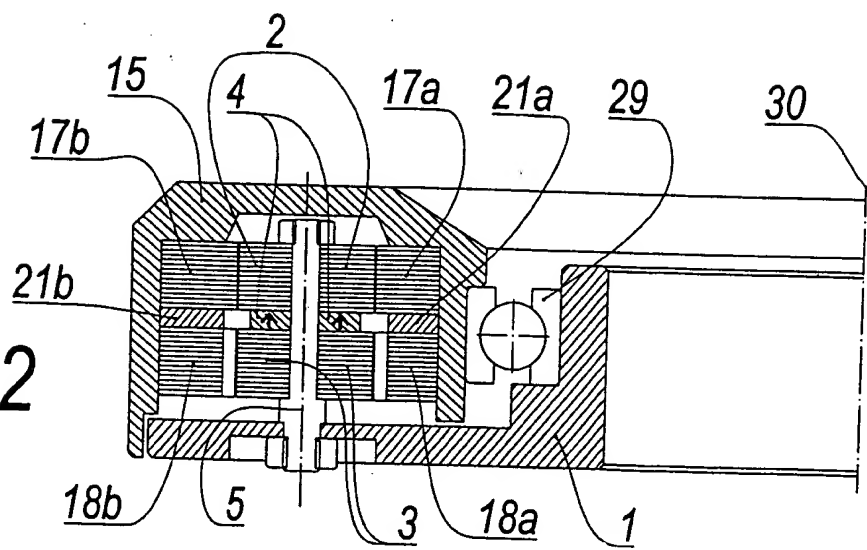


Fig. 6

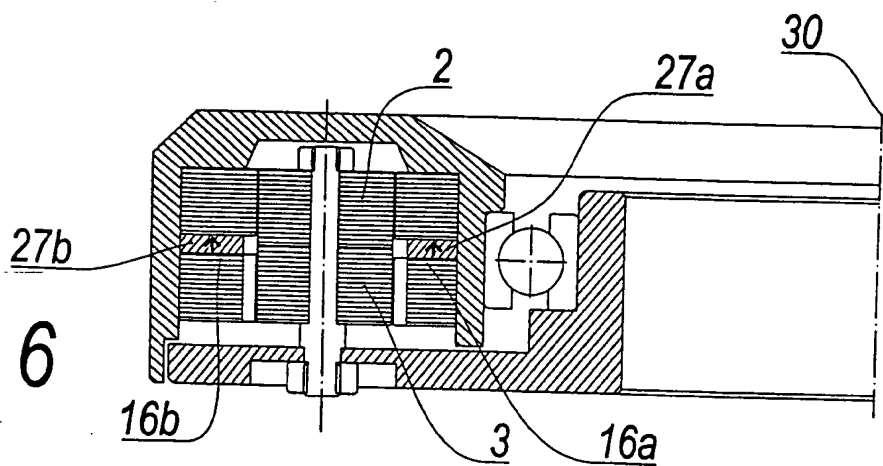
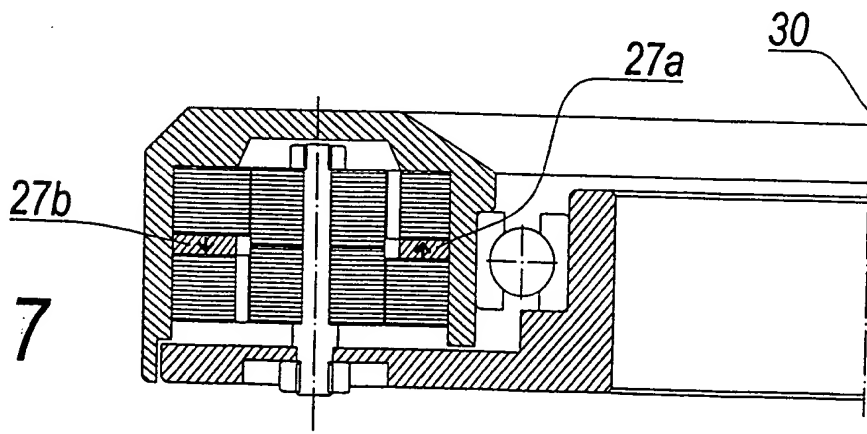
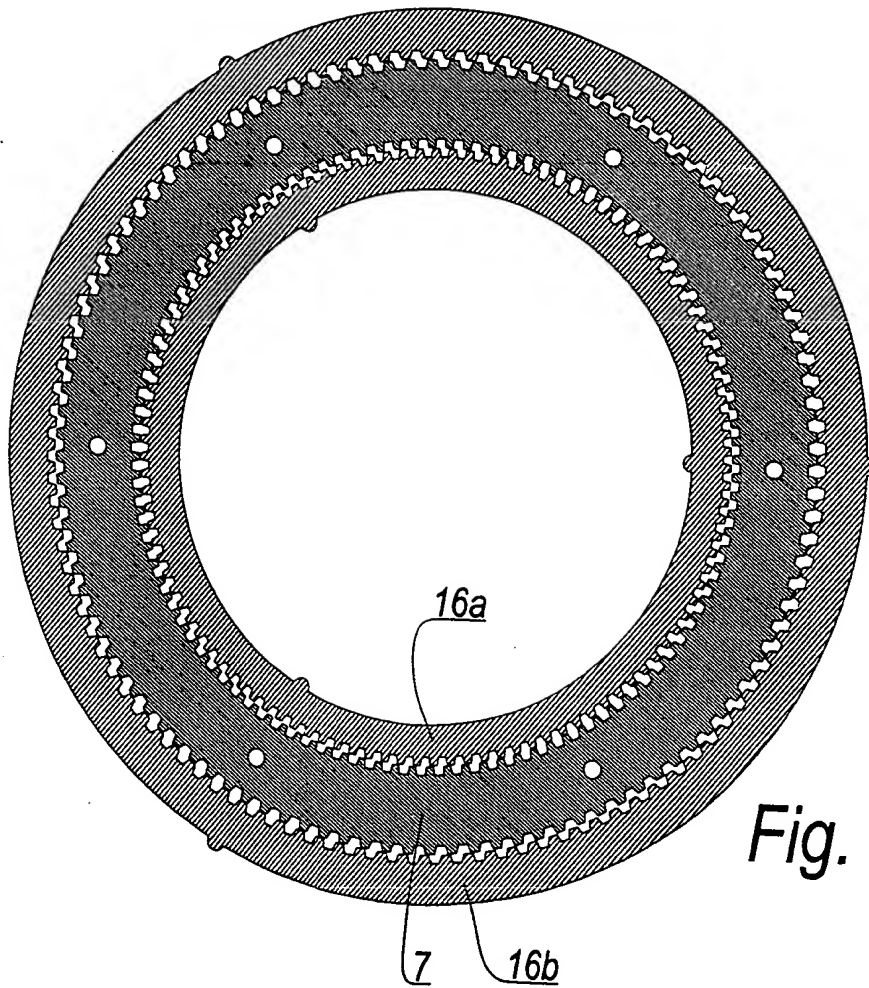


Fig. 7



Indre 782

8/8



Jude JR